
الفصل الثاني

الاتزان الكيميائي

أولاً : أسئلة و إجاباتها

- العوامل التي تؤثر علي سرعة التفاعل .
- التفاعلات الإنعكاسية وغير الإنعكاسية .
- ثابت الإتزان، حالة الإتزان الكيميائي .
- مبدأ لوشاتيليه
- العوامل الحفازة - الحفز الإيجابي والسلبي

ثانياً : مسائل وحلولها

ثالثاً : أسئلة عامة (غير مجاب عنها)

رابعاً : مسائل عامة (غير محلولة)

أولاً : أسئلة و إجاباتها

العوامل التي تؤثر علي سرعة التفاعل

س: تكلم بايجاز عن العوامل التي تؤثر على معدل (سرعة) التفاعل الكيميائي؟

ج: العوامل التي تؤثر على معدل (سرعة) التفاعل الكيميائي، هي:

١- الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة: لقد وجد أن شكل الجزيئ ودورانه الهندسى فى الفراغ له تأثير على سرعة التفاعل. كذلك فإن المواد ذات الجزيئات الأيونية والقطبية تتفاعل بسرعة كبيرة جداً عن المواد ذات الجزيئات غير القطبية.

٢- درجة تجزئ المادة المتفاعلة: كلما زادت مساحة السطح الخارجى للمواد المتفاعلة كلما زادت سرعة التفاعل الكيميائي. وبالتالي فإن المواد التي تكون على هيئة مساحيق (بودرة) تتفاعل بسرعة كبيرة جداً عما لو كانت موجودة على هيئة كتل صلبة.

٣- تركيز المواد المتفاعلة: تزداد سرعة التفاعل الكيميائي بزيادة تركيز المواد المتفاعلة، طبقاً لقانون فعل الكتلة الذى ينص على: « أن معدل التفاعل الكيميائي يتناسب طردياً مع حاصل ضرب الكتل الفعالة (التركيزات) للمواد المتفاعلة، مرفوعاً لأس عدد جزيئاتها ».

٤- درجة حرارة التفاعل: كلما زادت درجة الحرارة، كلما زادت سرعة التفاعل الكيميائي طبقاً لقانون "فانت هوف" الذى ينص على: « عند زيادة درجة الحرارة بمقدار (10°C) فإن سرعة التفاعل الكيميائي تزداد بمقدار مرتين أو أربع مرات (فى المتوسط ثلاث مرات) ».

٥- إثارة الجزيئات و الذرات: أى تحويلها إلى حالة تكون فيها أكثر قابلية للتفاعل. ويحدث ذلك بتأثير عوامل خارجية، مثل: التسخين، التعرض لأشعة رونتجن، وأشعة جاما.

٦- الوسط الذي يجري فيه التفاعل: يؤثر نوع مادة الوسط الذى يتم فيه التفاعل تأثيراً كبيراً على سريان التفاعل. فأحياناً يعمل الوسط على زيادة سرعة التفاعل الكيميائي بينما نجد أن هناك أوساطاً تعمل على تقليل سرعة التفاعل الكيميائي.

٧- عوامل الحفز: إن إضافة مادة معينة إلى تفاعل ما تؤثر على معدل التفاعل الكيميائي. وعلى ذلك، فهناك عوامل حفازة تعمل على زيادة سرعة التفاعل (تسجيله)، في حين أن بعض العوامل الحفازة الأخرى تعمل على تقليل سرعة التفاعل (تثبيطه).

* العامل الحفاز: هو مادة تضاف إلى وسط التفاعل بكميات صغيرة جداً، فتؤثر على معدل التفاعل، دون أن تشارك في التفاعل. أي أنها تبقى كما هي.

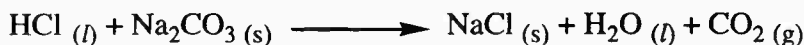
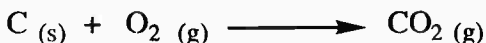
التفاعلات الانعكاسية وغير الانعكاسية

س: اكتب نبذة مختصرة عن التفاعلات الانعكاسية و التفاعلات غير الانعكاسية.

ج: التفاعلات الانعكاسية تعرف أيضاً بالتفاعلات المتزنة. وهى تلك التفاعلات التى تتم حيث يكون للمواد الناتجة - عند نفس ظروف التفاعل - المقدرة على أن تتفاعل مع بعضها (أو تتحلل) لتكون المواد الأصلية (المتفاعلة) مرة أخرى. أى أن التفاعل يسير فى اتجاهين أمامى وخلفى، حيث تتساوى سرعة التفاعلين، وتنشأ حالة الاتزان، ويعرف هذا التفاعل بالتفاعل المتزن. ويرمز لهذه التفاعلات بسهمين لهما رأسان متضادتان ($\rightleftharpoons$). ومن أمثلة هذه التفاعلات:



التفاعلات غير الانعكاسية: وهى تلك التفاعلات التى تتم بين المواد المتفاعلة عند ظروف معينة حيث تختفى هذه المواد وتتكون مواد جديدة تسمى بالمواد الناتجة. حيث لا يكون لهذه المواد الناتجة - عند ظروف التفاعل - القدرة على أن تتفاعل مع بعضها أو تتحلل لتكون المواد الأصلية (المتفاعلة) مرة أخرى. أى أن التفاعل يسير فى اتجاه واحد فقط وهو اتجاه تكوين المواد الناتجة. ويرمز لهذه التفاعلات بسهم ذو اتجاه واحد تشير رأسه إلى المواد الناتجة. ومن أمثلة هذه التفاعلات:

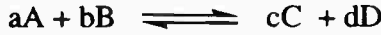


ثابت الاتزان - حالة الاتزان الكيميائي

س: وضح كيف يمكن اشتقاق قانون ثابت الاتزان باستخدام قانون فعل الكتلة.

ج: اشتقاق قانون ثابت الاتزان:

نفرض أنه لدينا التفاعل الانعكاسي المتزن التالي:



حيث a, b, c, d تمثل أعداد جزيئات المواد A, B, C, D على التوالي.

وبالنسبة للتفاعل الأمامي: ويتطبيق قانون فعل الكتلة، نجد أن:

$$r_f \propto [A]^a [B]^b$$

حيث r_f هي معدل (سرعة) التفاعل الأمامي

$$\therefore r_f = K_f [A]^a [B]^b$$

حيث K_f هي ثابت تناسب سرعة التفاعل الأمامي

وبالنسبة للتفاعل الخلفي:

$$r_b \propto [C]^c [D]^d$$

$$r_b = K_b [C]^c [D]^d$$

حيث « K_b » ثابت تناسب سرعة التفاعل الخلفي

وعند الاتزان ، فإن: معدل سرعة التفاعل الخلفي = معدل سرعة التفاعل الأمامي

$$r_f = r_b$$

$$K_f [A]^a [B]^b = K_b [C]^c [D]^d$$

$$\frac{K_f}{K_b} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

وحاصل قسمة ثابت تناسب سرعة التفاعل الأمامي (K_f) وثابت تناسب سرعة التفاعل

الخلفى (K_b) هو مقدار ثابت آخر يعرف بـ « ثابت الاتزان » ، ويرمز له بالرمز K

$$K = K_f / K_b$$

K_c هو ثابت الاتزان معبراً عنه بالتركيزات، K_p هو ثابت الاتزان معبراً عنه بالضغط الجزئية للغازات:

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \quad \& \quad K_p = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b}$$

س: عرف كلاً مما يأتي: ثابت الاتزان الكيميائي - حالة الاتزان الكيميائي.

ج: ثابت الاتزان الكيميائي: هو النسبة بين ثابتى سرعة التفاعل الأمامى وسرعة التفاعل الخلفى أو حاصل ضرب تركيزات المواد الناتجة مرفوعاً لأس عدد جزيئاتها مقسوماً على حاصل ضرب تركيزات المواد المتفاعلة مرفوعاً لأس عدد جزيئاتها.

حالة الاتزان الكيميائي: هى الحالة التى يتساوى عندها سرعة التفاعل الأمامى مع سرعة التفاعل الخلفى، حيث تبقى تركيزات المواد المتفاعلة و المواد الناتجة ثابتة (وهى ديناميكية، أى أن التفاعل عندها لايتوقف، ولكن عندها يكون معدل تكوين المواد الناتجة يساوى معدل تفككها لتكوين المواد الأصلية المتفاعلة مرة أخرى).

س: استنتج العلاقة بين ثابتي الاتزان K_p & K_c

K_c : هو ثابت الاتزان معبراً عنه بالتركيزات للمواد المتفاعلة و الناتجة.

K_p : هو ثابت الاتزان معبراً عنه بالضغط الجزئية للغازات المتفاعلة و الناتجة.

ج: تفرض أنه لدينا التفاعل المتزن التالى:



حيث a, b, c, d أعداد جزيئات المواد A, B, C, D .

ويمكن التعبير عن ثابت الاتزان K_p ، بالمعادلة التالية:

$$K_p = \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b} \quad (1)$$

ومن المعادلة العامة للغازات : نجد أن

$$PV = n R T :$$

$$P = \left(\frac{n}{V}\right) R T$$

$$P = C R T \quad \text{or } P_i = C_i R T$$

$$P_A = [A] R T, P_B = [B] R T, P_C = [C] R T, P_D = [D] R T$$

ويرفع لأس عدد جزيئات كل مادة ، فإن

$$P_A^a = [A]^a (R T)^a, P_B^b = [B]^b (R T)^b, P_C^c = [C]^c (R T)^c, P_D^d = [D]^d (R T)^d$$

وبالتعويض عن القيم السابقة فى معادلة رقم (١)

$$K_p = \frac{[C]^c (R T)^c \cdot [D]^d (R T)^d}{[A]^a (R T)^a \cdot [B]^b (R T)^b}$$

و بإعادة ترتيب المعادلة السابقة ، نحصل على:

$$K_p = \frac{[C]^c [D]^d \cdot (R T)^c (R T)^d}{[A]^a [B]^b \cdot (R T)^a (R T)^b}$$

$$K_p = K_C \cdot R T^{(c+d)-(a+b)}$$

$$K_p = K_C \cdot R T^{\Delta n} \quad \text{حيث أن :}$$

$$\Delta n = (c + d) - (a + b)$$

Δn = مجموع أعداد جزيئات المواد الناتجة مطروحاً منها مجموع أعداد جزيئات المواد المتفاعلة.

* إذا كان التفاعل لا يصاحبه تغيير فى أعداد الجزيئات، أى أن $\Delta n = 0$ صفراً فإن

$$K_p = K_C$$

* إذا كان التفاعل مصحوباً بزيادة فى أعداد جزيئات المواد الناتجة، فإن Δn موجبة

فإن $K_p > K_c$

* إذا كان التفاعل مصحوباً بنقص فى أعداد جزيئات المواد الناتجة، فإن Δn سالبة
فإن $K_p < K_c$.

مبدأ لوشاتيليه

س: اذكر مبدأ لوشاتيليه موضحاً تأثير كل من التغيير في الضغط و التركيز ودرجة الحرارة علي التفاعل المتزن التالي :



جـ : ينص مبدأ لوشاتيليه على أنه : «إذا أثر مؤثر ما (مثل : الضغط أو التركيز أو درجة الحرارة) على تفاعل فى حالة إتزان، فإن التفاعل يسير فى الاتجاه الذى يضاد فعل ذلك المؤثر» .

أ- تأثير الضغط: (ضغط الغاز هو عبارة عن اصطدام جزيئات الغاز بجدار الإناء الحاوى له. وعلى ذلك فإنه يمكن التعبير عن الضغط بدلالة عدد الجزيئات).

* عند زيادة الضغط : فإن الاتزان سوف يختل، وطبقاً لمبدأ لوشاتيليه فإن التفاعل يسير فى الاتجاه الذى يضاد فعل المؤثر أى أن التفاعل يسير فى الاتجاه الذى يقلل الضغط (الاتجاه الذى يقل فيه عدد الجزيئات) أى أن التفاعل يسير فى إتجاه التفاعل الأمامى (اتجاه تكوين الأمونيا).

* عند خفض (تقليل) الضغط: فإن الاتزان سوف يختل، وطبقاً لمبدأ لوشاتيليه، يسير التفاعل فى الاتجاه الذى يزيد الضغط (الاتجاه الذى يزداد فيه عدد الجزيئات)، أى أن التفاعل يسير فى الإتجاه الخلفى (اتجاه تفكك الأمونيا).

ب- تأثير التركيز

* عند زيادة تركيز إحدى المواد المتفاعلة أو كليهما، فإن الاتزان سوف يختل، ويسير التفاعل فى الاتجاه الذى يقلل تلك التركيزات، أى يسير التفاعل فى الاتجاه الأمامى (حيث تختفى المواد المتفاعلة ويقل تركيزها وتتكون كميات جديدة من المواد

الناجمة).

* عند إزالة الأمونيا المتكونة من وسط التفاعل، فإن الاتزان سوف يختل، ويسير التفاعل فى اتجاه تكوين الأمونيا.

ج - تأثير درجة الحرارة: (هذا التفاعل طارد للحرارة)

* عند زيادة درجة الحرارة، فإن التفاعل يسير فى اتجاه خفض الحرارة، وهو الاتجاه الخلفى.

* عند خفض درجة الحرارة فإن التفاعل يسير فى اتجاه زيادة الحرارة، وهو الاتجاه الأمامى.

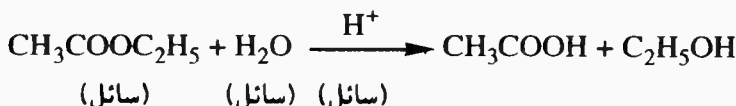
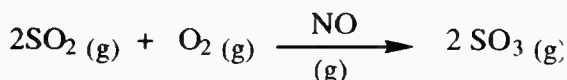
العوامل الحفازة - الحفز الإيجابى والسلبى

س: اكتب نبذة مختصرة عن : العامل الحفاز - تفاعلات الحفز المتجانسة - تفاعلات الحفز غير المتجانسة - الحفز الإيجابى - الحفز السلبى.

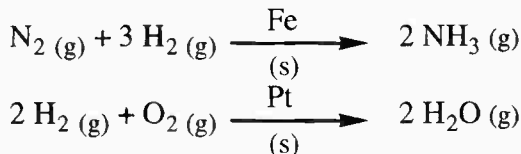
ج : العامل الحفاز (المادة الحفازة): هى تلك المادة التى عند إضافتها إلى وسط التفاعل، ولو بكمية صغيرة، فإنها تغير من سرعة التفاعل الكيميائى دون أن تشترك فى التفاعل.

« تبقى المادة الحفازة فى نهاية التفاعل كما هى دون أن يحدث لها تغيير فى كميتها أو خواصها الكيميائية، مما يدل على أنها لا تدخل فى التفاعل الكيميائى ولكنها تحفز فقط ».

تفاعلات الحفز المتجانسة: هى تلك التفاعلات التى يكون فيها العامل الحفاز والمواد المتفاعلة فى نفس الحالة (أو الطور). مثال ذلك:



تفاعلات الحرق غير المتجانسة: هي التفاعلات التي يكون فيها العامل الحفاز والمواد المتفاعلة في طورين مختلفين. مثال ذلك :



الحفز الإيجابي : وفيه تزداد سرعة التفاعل الكيميائي نتيجة وجود العامل الحفاز.
الحفز السلبي : وفيه تقل سرعة التفاعل الكيميائي نتيجة وجود العامل الحفاز.

س: اذكر أنسب الظروف لتحضير غاز النوشادر في الصناعة .

جـ :

١- سحب الأمونيا المتكونة باستمرار

٢- زيادة الضغط.

٣- خفض درجة الحرارة.

٤- استخدام العامل الحفاز للوصول بسرعة إلى حالة الاتزان.

ثانياً : مسائل وحلولها

س: إذا كانت $K_p = 167.5 \text{ atm}$ عند 1000°C بالنسبة للتفاعل التالي:



احسب ضغط غاز أول أكسيد الكربون (CO) الجزئي في نظام متزن يكون فيه الضغط الجزئي لغاز (CO₂) هو 0.10 atm .

الحل : $P_{\text{CO}} (\text{g}) = ?$, $P_{\text{CO}_2} (\text{g}) = 0.10 \text{ atm}$.

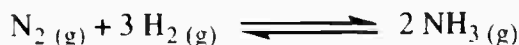
$K_p = 167.5 \text{ atm}$.

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}}^2 (\text{g})}{P_{\text{CO}_2} (\text{g})}$$

$$P_{\text{CO}}^2(\text{g}) = K_P \cdot P_{\text{CO}_2}(\text{g}) = 167.5 \times 0.10 = 61.75$$

$$P_{\text{CO}}(\text{g}) = \sqrt{61.75} = 4.09 \text{ atm.}$$

مثال : احسب قيمة K_c بالنسبة للتفاعل التالي عند (500°C) :



إذا كانت $K_p = 1.5 \times 10^{-5}$ عند نفس درجة الحرارة.

الحل :

$$K_p = 1.5 \times 10^{-5}, K_c = ?$$

$$R = 0.0821 \text{ L.atm / mol.}^\circ\text{K,}$$

$$T = 500 + 273 = 773^\circ\text{K.}$$

$$\Delta n = 2 - 4 = -2$$

$$K_p = K_c RT^{(\Delta n)}$$

$$K_c = K_p / RT^{(\Delta n)}$$

$$K_c = K_p / RT^{(-2)}$$

$$K_c = K_p \cdot RT = 1.5 \times 10^{-5} \times (0.0821 \times 773)^{-2}$$

$$K_c = 9.51 \times 10^{-4}$$

مثال : إذا كانت $K_c = 36.9$ عند درجة حرارة 227°C للتفاعل المتزن التالي :



فإذا خلط 0.125 mol of $\text{SO}_3(\text{g})$, 0.03 mol of $\text{O}_2(\text{g})$

مع 0.05 mol of $\text{SO}_2(\text{g})$ وذلك في وعاء سعته واحد لتر عند 227°C . اشرح في أى اتجاه يسير التفاعل.

الحل :

$$X = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} = \frac{(0.125)^2}{(0.05)^2 (0.03)} = 208$$

وهكذا نجد أن $X = 208$

بينما $K_c = 36.9$

أى أن $K_c < X$

أى أن التفاعل يسير من اليمين إلى اليسار.

أى أن التفاعل يسير فى اتجاه التفاعل الخلفى، وهو اتجاه تفكك SO_3 .

س: ادرس أثر زيادة الضغط علي التفاعل المتزن التالي:



جـ : عند دراسة هذا التفاعل ، نجد أن :

$$n_1 = \text{عدد جزيئات المواد المتفاعلة (فى الحالة الغازية)} = 4$$

$$n_2 = \text{عدد جزيئات المواد الناتجة (فى الحالة الغازية)} = 4$$

$$\Delta n = n_2 - n_1 = 4 - 4 = 0$$

$$\Delta n = 0$$

ولذلك، فإنه فى حالة هذا التفاعل، نجد أن تغير الضغط لا يؤثر على موقع الاتزان. أى تبقى حالة الاتزان كما هى برغم زيادة الضغط. (الضغط لا يؤثر على هذا التفاعل المتزن).

ثالثاً: أسئلة عامة (غير مجاب عنها)

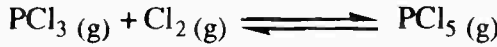
١- عرف كل مما يأتى: قانون فعل الكتلة - حالة الاتزان الكيميائى - العامل الحفاز (المساعد).

٢- ماهى العلاقة بين K_p , K_c فى التفاعلات الغازية.

٣- هل تكون K_p أصغر أم أكبر من K_c إذا كان عدد مولات المتفاعلات أصغر من عدد مولات النواتج.

٤- إذا كان مقسوم التفاعل عند نقطة معينة من التفاعل أصغر من ثابت الاتزان. ماذا يحدث للتفاعل؟

٥- عند حدوث الاتزان الكيميائي في التفاعل:



وجد أن تراكيز PCl_5 , Cl_2 , PCl_3 كانت على التوالي 0.10 , 0.90 , 0.12 مول في اللتر. احسب K_p , K_c تحت ظروف التجربة $t = 27^\circ\text{C}$.

٦- اشرح تأثير إدخال كمية إضافية لأحد المتفاعلات على تفاعل في حالة اتزان.

٧- اشرح تأثير إدخال كمية إضافية لأحد النواتج على تفاعل في حالة اتزان.

٨- ما تأثير رفع الضغط الكلي على حالة اتزان في كل من الحالات الآتية:

أ- تفاعل فيه عدد مولات الغازات المتكونة أصغر من عدد مولات الغازات المتفاعلة.

ب- تفاعل فيه عدد مولات الغازات المتكونة أكبر من عدد مولات الغازات المتفاعلة.

ج- تفاعل تتساوى فيه عدد مولات الغازات الناتجة و المتفاعلة.

د- تفاعل فيه كل المتفاعلات و النواتج سوائل أو جوامد.

رابعاً: مسائل عامة (غير محلولة)

١- احسب ثوابت الاتزان K_p , K_c عند درجة حرارة 395°C للتفاعل:



علماً بأن تراكيز الاتزان هي:

$$[\text{H}_2] = 6.4 \times 10^{-3} \text{ M}, [\text{I}_2] = 1.60 \times 10^{-3} \text{ M}, [\text{HI}] = 2.5 \times 10^{-2} \text{ M}$$

٢- ثابت الاتزان K_c للتفاعل:



عند درجة حرارة 425°C يبلغ 1.84 . احسب K_p للتفاعل السابق، ثم احسب K_c , K_p

للتفاعل :



٣- إذا علم أن K_c للتفاعل

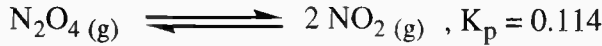


عند درجة حرارة 727°C تبلغ 4.17×10^{-2} . ماهو اتجاه التفاعل عند خلط 0.40 M

من SO_3 , 0.10 M من O_2 , 0.02 M من SO_2 .

٤- وضع 0.50 gm من غاز N_2O_4 فى وعاء حجمه 2.0 L عند درجة حرارة 25°C ،

وترك فى الوعاء حتى تم الاتزان الكيميائى حسب المعادلة :



احسب الضغط الجزئى لغاز N_2O_4 بعد الاتزان.

٥- يتم الاتزان التالى مع مادة كلوريد الكوبالت:



ما لون مادة كلوريد الكوبالت إذا وضعت فى وعاء مفتوح فى جو:

أ- رطب ب- جاف ؟. اشرح إجابتك.

٦- إذا أخذنا فى الاعتبار التفاعل:



هل تزداد أم تقل أم تظل كمية CaCO_3 كما هى عندما:

أ- تزال كمية من غاز (CO_2) من التفاعل بعد الاتزان.

ب- يزداد الضغط الكلى. ج- تضاف كمية من CaO .